

Н. Р. Аюпова^{1,2}, В. В. Масленников^{1,2}, С. П. Масленникова¹

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

² – *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе*
ayupova@mineralogy.ru

Диagenетическая сульфидная минерализация в оксидно-железистых отложениях колчеданных месторождений Урала

Сульфидные прослои, содержащие кристаллические, фрамбоидальные и конкреционные разновидности пирита, встречаются как в рудовмещающих, так и в безрудных вулканогенно-осадочных толщах колчеданных месторождений. К настоящему времени выделены гидротермально-осадочные, гидротермально-метасоматические, кластогенные и осадочно-диagenетические рудные прослои [Скрипченко, 1972; Масленников, 1999; Сафина, Масленников, 2009; Ярославцева и др., 2011]. Во многих случаях взаимоотношения этих процессов остаются спорными. Кроме того, до сих пор не выяснены отличительные признаки безрудных и рудоконтролирующих сульфидных прослоев. Для решения этих вопросов нами изучены сульфидные конкреции в оксидно-железистых отложениях Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал).

Микроскопические исследования проведены с использованием микроскопа Olympus BX51. Акцессорные минералы изучены на СЭМ VEGA3 Tescan с энергодисперсионным анализатором (аналитик И. А. Блинов). Определения содержаний элементов-примесей проводились масс-спектрометрическим анализом с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) в Университете Тасмании (г. Хобарт, Австралия).

Талганское медно-цинково-колчеданное месторождение расположено в центральной части Узельгинского рудного поля в зоне Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги на Южном Урале. Кремнисто-железистые отложения на месторо-

ждении локализованы в верхней части риолит-дацитовый эффузивно-обломочной толщи в составе двух горизонтов вулканогенно-осадочных пород. Наибольший интерес представляет собой верхний горизонт, сформированный в результате субмаринного окисления колчеданных руд [Теленков, Масленников, 1995]. Среди них широко распространены обломочные хлорит-гематит-кварцевые разновидности пород с обильными бактериоморфными структурами и наличием скоплений, цепочек и тонких слоев со стяжениями гематита, являющимися псевдоморфозами по зональным кристаллам и фрамбоидам пирита и биоморфозами. Аутигенные сульфиды представлены одиночными кристаллами пирита, локальными выделениями халькопирита и галенита с включениями (1–2 мкм) гессита. Из аксессуарных минералов в основной массе пород установлен лантанид(?) $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})_2[\text{CO}_3]_3\text{H}_2\text{O}$.

Особенностью изученных окисдно-железистых отложений являются линзовидные обособления хлорит-кремнистого состава размером до 3–5 см по длинной оси при мощности около 1 см, имеющие резкие контакты с вмещающей обломочной кварц-хлорит-гематитовой массой. Среди них выделяются типичные овальные концентрически-зональные конкреции с пиритом и халькопиритом во внутренней части. В строении конкреции выделяются внутренняя часть или ядро овальной формы, промежуточная и наружная оболочки, оконтуривающие сульфидное ядро (рис.).

Сульфидное ядро имеет концентрически-зональное строение: в центре присутствуют скопления кубических кристаллов пирита размером 200–300 мкм в хлорит-кварцевом базисе с неравномерной тонкой вкрапленностью халькопирита. В пирите находятся включения халькопирита, галенита, рутила и хлорита. Пиритовый центр окружен хлорит-кварцевой зоной мощностью 0.5–1.0 см с редкими халькопиритом, гематитом и лейкоксеновыми агрегатами. Внешняя кольцевая зона сульфидного ядра представлена тонкой непрерывной халькопиритовой оторочкой мощностью 1–4 мм. В ассоциации с халькопиритом встречаются более крупные выделения гематита. В халькопирите отмечаются субмикроскопические включения галенита, сфалерита, в единичном случае обнаружен электрум.

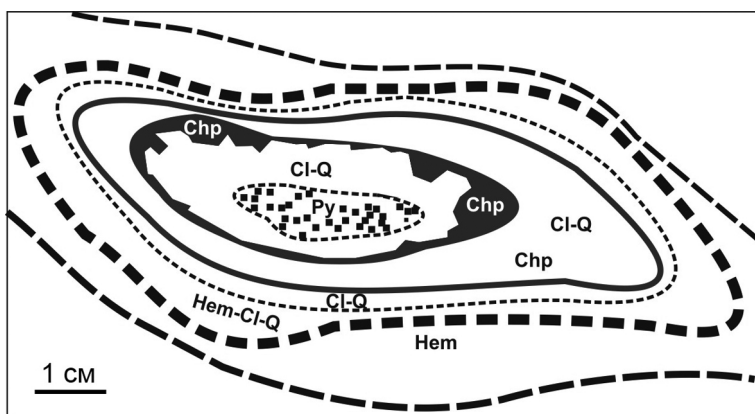


Рис. Конкреция концентрически-зонального строения: Py – кристаллы пирита в центре сульфидного ядра; Chp – халькопиритовая оторочка сульфидного ядра; Cl-Q – вмещающий субстрат хлорит-кварцевый состав с тонкой вкрапленностью сульфидов и гематита; Hem-Cl-Q – гематит-хлорит-кварцевая зона; Hem – гематитовая наружная кайма; Ca-Hem-Cl-Q – матрица гематит-хлорит-кварцевый состав обломочного строения.

Промежуточная зона конкреции является продолжением хлорит-кварцевой зоны, которая к периферии постепенно становится гематит-хлорит-кварцевой. Тонкодисперсный гематит-кварцевый материал образует наружную окисленную оболочку конкреции. На контакте промежуточной и наружной зон присутствует непрерывный ореол с неравномерной вкрапленностью халькопирита.

Кристаллы пирита концентрируют Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As и Se (табл.). Аномальные содержания Cu и Pb в пирите связаны с включениями халькопирита и галенита, а Mn и Ti – нерудных минералов субстрата конкреции. Пирит содержит больше Se по сравнению с Te ($Se/Te = 7.29$) и Ni по сравнению с Co ($Co/Ni = 0.53$).

Т а б л и ц а

Сравнение средних содержаний элементов-примесей (г/т) в пирите, халькопирите и гематите конкреционных образований

	Py-1(8)	Py-2(9)	Py-3(9)	7033(22)	Уч- У1(7)	Chp- 1(11)	Chp- 2(9)	Hem- 1(3)	Hem- 2(11)
Ti	1171	583	1097	605	40	1298	226	7221	148
Mn	233	35	255	174	4645	226	441	2659	2143
Cr	2.4	3.3	1.2	2.0	10	5.9	5.4	5.6	2.2
Co	224	116	833	2063	45	0.2	0.7	1.9	1.0
Ni	421	153	386	423	97	1.1	0.5	5.0	2.3
Cu	2649	72	1064	1503	244	313102	314324	17	3.2
Zn	465	227	9197	38	44	267	106	735	222
As	409	328	1084	6647	1072	14	70	1708	1212
Se	124	10.4	0.5	63	38	55	3.3	4.9	1.5
Mo	1.7	0.4	0.8	17	22	0.1	0.5	16	23
Ag	29	1.55	332	17	3.00	181	79	15	0.02
Sn	0.4	0.2	0.3	0.02	0.3	0.6	9.0	8.1	1.6
Sb	12.7	5.0	1270	35.3	73	9.7	20	811	204
Ba	1.1	88	10	33.5	56	1.2	35	106	17
Te	17	3.2	51	3.6	3.5	1.9	1.3	16	0.4
W	4.2	19	24	0.1	0.1	3.8	39	372	756
Au	1.01	0.04	0.11	0.38	0.08	0.17	0.01	0.03	0.03
Pb	557	52	3002	3054	232	44	1197	1474	292
Bi	68	0.18	18	2.3	0.1	43	4.6	21	1.5
V	14	6.3	12	57	11	13	16	530	615
Th	0.6	0.4	0.2	0.3	0.05	0.6	0.6	3.6	0.4
U	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5	0.3	16	6.5
Co/Ni	0.53	0.76	2.15	4.87	0.46	0.20	1.34	0.40	0.45
Se/Te	7.29	3.24	0.002	17.26	10.85	28.20	2.66	0.31	4.27

Примечание. Py-1 – кристаллический пирит сульфидного ядра конкреции, Py-2 – одиночные кристаллы пирита в окисдно-железистых отложениях, Py-3 – конкреция фрамбоидального пирита в сульфидных песчаниках, 7033 – конкреционный пирит из флишоидных надрудных вулканогенно-осадочных пород, Уч-У1 – конкреционный пирит из отложений улугауской свиты, Chp-1 – халькопиритовая оторочка сульфидного ядра конкреции, Chp-2 – новообразованный халькопирит в сульфидных песчаниках, Hem-1 – гематит в хлорит-кварцевом базисе конкреции, Hem-2 – биоморфозы. ЛА-ИСП-МС анализы выполнены в Тасманийском университете (г. Хобарт, Австралия). В скобках количество анализов.

В халькопирите рудные микропримеси тесно коррелируют друг с другом и, вероятно, отражают изоморфное вхождение их в его структуру. В отличие от пирита халькопирит характеризуется низкими содержаниями элементов-примесей, особенно Co, Ni, As, и повышенными содержаниями Ag (167 г/т), что объясняется присутствием электрума. Халькопирит конкреций по содержанию элементов-примесей идентичен новообразованному халькопириту слоистых сульфидных песчаников.

По сравнению с пиритом и халькопиритом гематит характеризуется аномально высокими содержаниями Mn, Ti, Zn, As, Sb, Sn, W, V, Th и U (табл.). В биоморфозах гематита в отличие от его псевдоморфоз установлены крайне низкие содержания халькофильных элементов.

Предполагается, что в стадию гальмиролиза-диагенеза происходило растворение присутствующего в первичных осадках рудокластического материала, обогащенного рассеянными элементами. Новообразованные диагенетические кристаллы пирита и халькопирита, в целом, унаследовали повышенные содержания элементов-примесей рудокластов и ассимилировали примеси субстрата. Гематит по сравнению с сульфидами характеризуется высокими содержаниями литофильных и биогенных компонентов. Повышенные содержания Te в гематите и присутствие новообразованной галенит-гесситовой ассоциации в основной массе породы свидетельствуют о возникновении растворов, насыщенных Te в окислительных условиях.

Кристаллический пирит конкреции характеризуется повышенными содержаниями элементов-примесей в отличие от одиночных кристаллов пирита в основной массе породы, хотя тенденция в накоплении отдельных компонентов в них сохраняется ($Se/Te = 3.28$, $Co/Ni = 0.72$). Сгустки фрамбоидального пирита с каймой мелкозернистого в слоистых сульфидных песчаниках месторождения отличаются от кристаллов пирита низкими значениями Se/Te (0.02) и высокими значениями отношения Co/Ni (2.15) при повышенных содержаниях Ag и Au. Конкреционный пирит сноповидно-лучистого строения из надрудной вулканогенно-осадочной толщи характеризуется аномально высокими содержаниями Co (2063 г/т) и Ni (423 г/т), а также отношением Se/Te 17.26. В отличие от рассмотренных разновидностей пирита колчеданных месторождений, пиритовые конкреции безрудных вулканогенно-осадочных толщ (улугауская свита) характеризуются крайне низкими содержаниями Co (45 г/т), Ni (97 г/т) и других элементов, кроме As (1072 г/т) и Mn (4645 г/т). Обращает внимание увеличение содержания Mo, уменьшение содержания Zn и возрастание отношения Se/Te в пирите с удалением сульфидных прослоев от колчеданных залежей.

Вероятно, рассмотренные сульфидные конкреции формировались в течение двух стадий: сначала образовалось сульфидное ядро, вокруг которого затем происходило последовательное нарастание зон. Ядро конкреции можно рассматривать как результат перераспределения сульфидного вещества и его кристаллизации в слабоконсолидированной пелитовой среде глинисто-кремнистого состава. Его зональное строение связано с послойной миграцией рудного вещества при стяжении в конкреции. Источником вещества для формирования конкреций и аутигенной сульфидной минерализации в цементе явились сами вмещающие отложения с рудокластами. Промежуточная хлорит-кремнистая оболочка конкреций, вероятно, является результатом разлинзования при уплотнении глинисто-кремнистого пелитового слоя. Об этом свидетельствуют многочисленные самостоятельные линзовидные образования того же состава в основной массе пород. Формирование гематитовой оторочки неравномерной мощности связано с окислительными условиями диагенеза. Гематитизация фрамбоидального пирита в основной массе окисдно-железистых отложений

указывает на их возникновение в самую раннюю стадию диагенеза осадков, явно до окончания диагенетического окисления сульфидов. Бактериоморфные структуры и присутствие гематитизированной микрофауны в породах указывает на участие биоты при формировании окисдно-железистых отложений и, вероятно, на накопление элементов-примесей в гематите. Отсутствие знаков нагрузки, облекание текстурным рисунком нижележащих компонентов и более выпуклая верхняя поверхность конкреций объясняется нагрузкой вышележащих слоев и перегруппировкой вещества в течение длительных этапов формирования самих конкреций и вмещающих отложений.

Работа поддержана проектом ориентированных фундаментальных исследований (проект № 13-05-012-Недра).

Литература

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Сафина Н. П., Масленников В. В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское, Урал. Миасс: УрО РАН, 2009. 260 с.

Скрипченко Н. С. Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций. М.: Наука, 1972. 217 с.

Теленков О. С., Масленников В. В. Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. 200 с.

Ярославцева Н. С., Масленников В. В., Сафина Н. П. и др. Углеродсодержащие алевропелитолиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2012. № 2. С. 106–125.